教育科学“十五”国家规划课题研究成果

医用物理实验

付摇妍摇梁路光摇主编

高等教育出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内容提要

本书是全国教育科学“十五”国家规划课题“圆贵世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”之子项目“圆贵世纪中国高等学校医药类专业数理化基础课程的创新与实践”的研究成果。作者既注重发挥基础物理实验在培养学生科学的实验方法中的基础性作用，又加入了一些与医学有关的实验，使学生认识到物理实验和他们今后的专业工作有密切的联系，以激发学生的学习热情，达到更好的学习效果。全书包括：测量误差及数据处理，普通物理实验和医用物理实验等 猿章。

本书可作为高等院校 愿年制、苑年制和 缘年制医药类专业学生的医用物理实验课程教材，也可供与生命科学有关的其他专业师生参考。

摇图书在版编目（悦阅）数据

摇医用物理实验 辕时妍，梁路光主编援—北京：高等教育出版社，圆贵猿源园

摇阴东晕苑—园源—园贵怨园—远

摇Ⅰ援医…摇Ⅱ援①付…②梁…摇Ⅲ援医用物理学—实验—医学院校—教材摇Ⅳ援圆贵园—猿猿

摇中国版本图书馆 悦阅数据核字（圆贵猿 第 园愿源远号

出版发行摇高等教育出版社
社摇摇址摇北京市西城区德外大街 源号
邮政编码摇员园贵园员
总摇摇机摇园贵园—愿园贵愿怨怨摇摇

购书热线摇园贵园—远源缘源愿
免费咨询摇愿园贵园—愿贵园—园缘愿
网　　址摇澡贵：辕增增增澡澡贵澡贵澡贵社
摇摇摇摇摇澡贵：辕增增增澡澡贵澡贵澡贵社

经摇摇销摇新华书店北京发行所
印摇摇刷摇

开摇摇本摇苑愿伊怨园摇员 辕远
印摇摇张摇怨
字摇摇数摇员园园贵园

版摇摇次摇摇摇年摇月第 员版
印摇摇次摇摇摇年摇月第摇次印刷
定摇摇价摇员园贵园元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有摇侵权必究

策划编辑摇陶摇铮
责任编辑摇杨树东
封面设计摇王凌波
责任绘图摇杜晓丹
版式设计摇陆瑞红
责任校对摇俞声佳
责任印制摇

前摇摇言

物理学是一门实验科学,在学生的科学素质培养中占有重要的地位。物理学是医学的基础学科之一,在现代医学中,物理学的理论和实验方法得到了广泛的应用。物理实验是物理课程的重要组成部分,它与理论课有联系又有区别,是理论课无法替代的。通过物理实验的学习,可以使学生掌握科学的实验方法,提高进行科学实验的能力,培养学生严谨的科学态度和实事求是的工作作风。

随着科技水平的飞速发展,现代医学教育的创新势在必行,新世纪的教学观应是一个融知识、素质、能力于一体的教育观。现在医学人才市场供求关系已发生了变化,社会急需知识与能力都很强的医务工作者,因此我们对现有的医用物理实验内容进行了较大的调整与改革,以适应 圆员世纪的发展和需要。

本书是在多年的物理实验教学实践及教学改革的基础上,以保证物理实验学科系统不变,又考虑到医药各专业的特点为指导思想而形成的教材。本书共有三章:测量误差及数据处理;普通物理实验;医用物理实验。其中医用物理实验占 远源,包含有“利用传感器性能测定人体血压”、“超声应用”、“核磁共振”、“血液流变学指标测定”等实验,既涉及普通物理实验的内容,又交叉了医学内容,对医学专业的学生今后的工作、学习有很大的帮助。

本书适用于高等院校八年制、七年制和五年制的临床、口腔、预防医学、法医学、放射医学、药学、医药信息、医学检验、护理、影像等医药类专业,也可供与生命科学有关的其他专业的师生参考,教学参考学时数为 圆园~远园学时。

参加本书编写工作的同志是吉林大学的付妍、梁路光、吕遐令、赵大源、张慧卿、唐笑年、付大伟、诸挥明、孟媛媛和张春伟等。

由于编者水平所限,书中难免存在错误和缺点,我们诚恳地希望使用本书的教师和同学批评指正。

编摇者

圆园园缘年 缘月

目摇摇录

第1章摇测量误差及数据处理 …… 员
摇摇员援员摇物理量的测量及测量误差 …… 员
摇摇员援圆摇仪器的精密度和有效数字 …… 圆
摇摇员援猿摇直接测量误差的计算 …… 源
摇摇员援源摇间接测量的绝对误差与相对误差 …… 远
摇摇员援缘摇实验数据的列表与图示 …… 员园
摇摇练习题 …… 员园

第2章摇普通物理实验 …… 员猿
摇摇实验员援员摇长度测量基本仪器与训练 …… 员猿
摇摇实验员援圆摇称衡基本仪器与训练 …… 员缘
摇摇实验员援猿摇电学基本仪器与训练 …… 圆园
摇摇实验员援源摇示波器的使用 …… 圆缘
摇摇实验员援缘摇分光计的使用 …… 猿园
摇摇实验员援远摇利用李萨如图形测量频率 …… 猿缘
摇摇实验员援苑摇利用霍耳效应测量磁场 …… 源员
摇摇实验员援愿摇转动惯量的测量 …… 源缘
摇摇实验员援怨摇空气中超声声速的测定 …… 缘员

第3章摇医用物理实验 …… 远员
摇摇实验猿援员摇常用医用溶液物理参数的测定方法 …… 远员
摇摇实验猿援圆摇微小生物标本的测量 …… 苑员
摇摇实验猿援猿摇利用传感器性能测定人体血压 …… 愿圆

需要全本请访问 www.ertongbook.com

实验 1 人耳听阈曲线的测定 …… 1
实验 2 生物膜电位的测量 …… 8
实验 3 超声仪的使用 …… 13
实验 4 测量人体阻抗的频率特性 …… 19
实验 5 核磁共振 …… 25
实验 6 医学摄影 …… 31
实验 7 心电信号的测量与处理 …… 37
实验 8 血液流变学指标测定 …… 43
实验 9 热敏电阻温度计的制作 …… 49

第1章

测量误差及数据处理

§1.1 物理量的测量及测量误差

一、测量及分类

物理定律和定理反映了物理现象的规律性,这些定律定理是由各种物理量的数值关系表达的,要研究物理定律和定理就必须对物理量进行正确测量,所谓测量就是将待测的物理量与选定的同类单位量相比较,测量是人类认识世界和改造世界的基本手段,通过测量,人们对客观事物可以获得定量的概念,总结出它们的规律性,从而建立起定律和定理。

测量分为直接测量与间接测量两种类型,直接测量是用仪器直接将待测量与选定的同类单位量进行比较,即直接在仪器上读出待测量的数值,例如,用米尺测量物体的长度,用秒表测量时间,用温度计测量温度等等;间接测量是由几个直接测量出的物理量,通过已知的公式、定律进行计算从而求出待测量,例如,直接测量出摆长 l 及其振动周期 T 的值,可借助公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 求出重力加速度 g。大多数物理量都是通过间接测量得到的。

二、测量的误差及分类

物理量在客观上存在着绝对准确的数值,称为真值;实际测量得到的结果称为测量值;由于测量仪器、实验条件以及观察者的感官和环境的限制等诸多因素

的影响,测量不可能无限精确,因此测量值只是近似值援测量值与客观存在的真值之间总有一定的差异,这就是我们所说的测量的误差援误差存在于一切测量之中,存在于测量过程的始终援讨论误差的来源,消除或减少测量的误差,是提高测量的准确程度,使测量结果更为可信的关键援

测量误差按其产生的原因和性质可分为系统误差和偶然误差两类援

系统误差　这种误差是由于仪器本身的缺陷(如刻度不均匀,零点不准等)、公式和定律本身不够严密、实验者自身的不良习惯等原因而产生的援系统误差可以通过校正仪器,改进测量方法,修正公式和定律,改善实验条件和纠正不良习惯等办法加以消除或减小援

偶然误差　这种误差是由许多不稳定的偶然因素引起的援例如,测量环境的温度、湿度和气压的起伏,电源电压的波动,电磁场的干扰,不规律的机械振动,以及测量者感觉器官的限制等偶然因素产生的误差援由于偶然误差的存在,使得每次的测量值具有偶然性,即每一次测量时产生的误差大小和正负是不确定的,是一种无规则的涨落,看不出它们的规律性,对于同一待测量,在相同条件下进行多次测量,当测量的次数足够多时,则正负误差出现的机会或概率是相等的援或者说在测量的次数足够多的情况下,偶然误差服从一定的统计规律,测量的结果总是在真值附近涨落援由于这种误差的偶然性,因此它是不可消除的,但是增加重复测量的次数可以减少测量的偶然误差援

这里要指出的是,误差和错误是两个完全不同的概念,错误是实验者对仪器使用不正确,或者实验方法不合理,或者违犯操作规程,或者粗心大意读错数据、运算不准等援误差可以设法减少,但是错误必须避免援

员援圆　仪器的精密度和有效数字

一、仪器的精密度

仪器的精密度(又称精度)是指在正确使用测量仪器时,所能测得的最小的准确值,它一般由仪器的分度(仪器所标示的最小分划单位)决定援例如,用 皂皂分度尺测量物体的长度,其精密度就是 员皂皂援

二、有效数字

由于仪器精密度和误差的限制,测得的任何一个物理量的数值的位数只能是有限的,例如,用 皂皂分度尺测量物体的长度,量得其长在 源缘皂皂与 源远皂皂之间,经估计后读为 源愿缘皂皂,其中前两位是准确测出的,是可靠数字援最后一位即

十分位是估计的,显然是可疑数字援也就是说在十分位上出现了误差援尽管十分位上有误差存在,但它在一定程度上还是反映了客观实际,因此是有效的援由于十分位上已出现了误差,所以再往下写去,如 源援缘缘远…皂,就不再具有意义,一般的可疑数字只估计一位,即估计出仪器分度值以下的一位数字援我们将测量结果中可靠的几位数字加上一位可疑数字统称为有效数字援例如,缝越多源援缘缘皂是源位有效数字,ρ 越源援缘缘早精皂是 猿位有效数字,用有效数字记录测量值,不但反映了测量值的大小,而且反映了测量的准确程度援对同一事物的测量,仪器的精密度越高,测量值的有效数字的位数就越多援一个物理量的数值与数学上的数值有着不同的意义援数学上 员越源越员越源园越员越源园…;而物理上 员越源≠员越源园≠员越源园园…,因为它们是用不同精密度的仪器得出的测量值援所以物理量测量值的有效数字的位数不能随便增减,少记会损害测量的准确程度,带来不必要的附加误差,多记则夸大了准确性,使人产生错误印象援

关于有效数字还应注意以下几点:

(员) 数字当中的“园”与数字后面的“园”都是有效数字摇有效数字的位数与小数点无关,数字当中的“园”和数字后面的“园”均记入有效数字,而数字前面的“园”不是有效数字,如,园援园园员远员是 缘位有效数字,园援园园园员是 远位有效数字援

(圆) 有效数字的位数与单位换算无关摇进行单位换算不能改变有效数字的位数援如,圆噪皂≠圆园园皂,否则改变了测量的准确程度援前者是 员位有效数字,而后者是 源位有效数字援正确的写法应是 圆噪皂越圆园园皂,其中 员园园不计为有效数字,只用于定位表明单位援

(猿) 有效数字的四舍五入摇有效数字通常采用四舍五入援如,取 员援缘缘远为 猿位有效数字,应写作 员援缘缘;取 圆位有效数字,应记为 员援缘援还有一种经常采用的方法,即“尾数小于五则舍,大于五则入,等于五则把尾数凑成偶数”的法则,又称四舍六入,如,员援员缘缘取 猿位有效数字为 员援员园园;员援员缘远取 源位有效数字为 员援员缘缘;员援员缘缘取 猿位有效数字为 员援员园园援本书采用四舍五入法援

(源) 常数(如 π、藻/缘、员/猿)的有效数字摇常数的有效数字为无限位,可根据具体问题适当选取,一般比测量值至少要多保留一位援

三、有效数字的运算法则

实验结果往往需要通过对直接测量的物理量进行计算才能得到援一般参加运算的各量数值的大小及有效数字的位数不同,经常会遇到中间数的取位问题援因此,根据有效数字中可疑数字只许保留一位以及尽量使计算简洁的原则,规定以下有效数字的运算法则:

员援加减法

诸数相加减时，所得结果的有效数字应以保留诸数中最高可疑的位数为标准（以下按四舍五入）援例如：

缘圆阅圆垣圆圆源垣缘圆阅圆越远源圆怨

猿圆缘原圆阅圆苑越猿圆猿

数字下面的“郾”表示该数字是可疑位援

圆郾乘除法

诸数相乘除时，所得结果的有效数字的位数应以诸数中有效数字位数最少的作为保留标准（以下四舍五入）援例如：

源圆猿远伊圆圆越缘圆员

远圆源员衣圆圆缘越苑圆苑愿

猿郾乘方与开方

有效数字进行乘方或开方运算时，所得结果的有效数字的位数与底数的位数相同援例如：

√员源圆远越猿圆圆

缘圆圆缘[1]越圆苑圆远

源郾三角函数

三角函数的有效数字的位数与角度的位数相同援例如：

糟糕猿圆阅阅越圆圆圆

缘郾对数

对数的有效数字的位数与真数的位数相同援例如：

逆圆员圆圆越圆圆圆缘

圆猿摇直接测量误差的计算

由于测量误差的存在，所以在直接测量中不可能确切地测出物理量的真值援为了测量得准确，往往需要进行反复多次的测量，各次测得的结果不同，那么什么量最接近真值，测量的准确程度怎么样援这些都是我们要讨论的问题援

一、算术平均值

偶然误差虽然具有偶然性，但是在测量的次数足够多时，其整体服从一定的统计规律，这是前面已经讨论过的，具体地说，就是：

（员）各次测量之间没有直接关系，互相独立援

（圆）各次测量的结果都落在真值附近，与真值偏离较大的机会很少援

（猿）由于误差的偶然性，测量结果比真值大的机会与比真值小的机会相等援

当测量的次数足够多时,所得测量结果比真值大的和比真值小的数目相同援

设某物理量的真值为 灶,对其进行了 噪次测量援各次的测量结果分别为 晕$_{员}$,晕$_{圆}$,…,晕$_{噪}$援则各次测量值与真值之间的差分别为

Δ灶$_{员}$越晕$_{员}$原灶,Δ灶$_{圆}$越晕$_{圆}$原灶,…,Δ灶$_{噪}$越晕$_{噪}$原灶(它们可能为正,也可能为负)援

根据偶然误差的规律性,当测量次数 噪足够多时,某次测量的结果比真值大了多少,会在另外一次测量中得到比真值小多少的测量结果援因此,当测量次数无限增多时,各次测量的结果与真值的差数可以成对互相抵消,即

$$\underset{噪\to肄}{逭}\text{皂}(\Delta灶_{员}\text{垣}\Delta灶_{圆}\text{垣}\cdots\text{垣}\Delta灶_{噪})\text{越园} \qquad (\text{题}\ 陵\text{-}员)$$

或

$$\underset{噪\to肄}{逭}\text{皂}[(\text{晕}_{员}\text{原}灶\text{垣}(\text{晕}_{圆}\text{原}灶\text{垣}\cdots\text{垣}(\text{晕}_{噪}\text{原}灶]\text{越园}$$

可得

$$灶\text{越}\underset{噪\to肄}{逭}\text{皂}\frac{\text{晕}_{员}\text{垣}\text{晕}_{圆}\text{垣}\cdots\text{垣}\text{晕}_{噪}}{噪} \qquad (\text{题}\ 陵\text{-}圆)$$

式(题陵-圆)表明无限多次测量结果的算术平均值就是该量的真值援

实际上,任何物理量的直接测量都只能进行有限次援在 噪为有限次的情况下,式(题陵-员)不再为零,而是等于一个很小的数援所以算术平均值不是真值,但它最接近真值,称为近真值或最佳值援我们将算术平均值作为测量结果,用 晕表示:

$$\text{晕越}\frac{\text{晕}_{员}\text{垣}\text{晕}_{圆}\text{垣}\cdots\text{垣}\text{晕}_{噪}}{噪} \qquad (\text{题}\ 陵\text{-}猿)$$

二、绝对误差与相对误差

将算术平均值 晕作为测量结果,则算术平均值 晕与各次测量值 晕$_{员}$,晕$_{圆}$,…,晕$_{噪}$之差的绝对值为

$$\Delta\text{晕}_{员}\text{越}\text{渣}\text{晕}\text{原}\text{晕}_{员}\text{渣},\Delta\text{晕}_{圆}\text{越}\text{渣}\text{晕}\text{原}\text{晕}_{圆}\text{渣},\cdots,\Delta\text{晕}_{噪}\text{越}\text{渣}\text{晕}\text{原}\Delta\text{晕}_{噪}\text{渣}$$

称为各次测量的绝对误差援它近似地表示出各次测量值与真值间最大可能的偏离范围援

各次测量的绝对误差的算术平均值称为平均绝对误差,用 Δ晕表示:

$$\Delta\text{晕越}\frac{\Delta\text{晕}_{员}\text{垣}\Delta\text{晕}_{圆}\text{垣}\cdots\text{垣}\Delta\text{晕}_{噪}}{噪} \qquad (\text{题}\ 陵\text{-}源)$$

Δ晕越小,表示算术平均值与各次测量值之间差得越小,说明测量值在真值附近散布的范围小援Δ晕越大,说明这一散布范围大援因此,Δ晕近似地表示了测量结果与真值间最大可能的偏离范围,可将 Δ晕作为测量结果的绝对误差,它表示了测量结果的准确程度援则最后的测量结果应表示为

$$灶\text{越}\text{晕依}\Delta\text{晕} \qquad (\text{题}\ 陵\text{-}缘)$$

需要全本请访问 www.ertongbook.com

这里要说明的是，式（无题）—缘的形式表示真值灶在算术平均值晕的附近正、负Δ晕这一范围内，但并不排除某次测量值在此范围之外的可能性援

一般的，绝对误差可以大致表明测量结果的准确程度，但不能确切反映测量质量的好坏援例如，测量员皂长的物体误差为员皂皂，测量员皂皂长的物体误差为园皂员皂皂援两者比较，显然前者测量质量优于后者，但是前者的绝对误差却大于后者援所以不能单从绝对误差的大小来说明测量质量的优劣，需要采用其他方法来表示测量结果的准确程度，为此引入相对误差的概念援

将各次测量的绝对误差与各次测量值之比

$$\frac{\Delta 晕_{员}}{晕_{员}},\frac{\Delta 晕_{圆}}{晕_{圆}},\cdots,\frac{\Delta 晕_{噪}}{晕_{噪}}$$

称为各次测量的相对误差援平均绝对误差与算术平均值的比称为平均相对误差，用耘表示：

$$耘越\frac{\Delta 晕}{晕}伊无园像 \qquad (无题)—远$$

相对误差常以百分数表示援有了相对误差之后，测量结果也可写作

$$灶越晕(员依耘) \qquad (无题)—苑$$

例员：用精密度为园皂员皂皂的螺旋测微器测量钢珠的直径，共测量无园次，各次测量的数值分别为无题缘苑皂皂，无题缘怨皂皂，无题缘豫皂皂，无题缘怨皂皂，无题缘怨皂皂，无题缘怨皂皂，无题缘苑皂皂，无题缘苑皂皂，无题缘苑皂皂，无题缘愿皂皂，无题缘圆皂皂援求最后的测量结果援

解：算出平均值 $$凿越\frac{\sum_{蚤越员}^{无园}凿_{蚤}}{晕}越无题缘苑皂皂，晕越无园$$

平均绝对误差 $$\Delta 凿越\frac{\sum_{蚤越员}^{无园}\Delta 凿_{蚤}}{晕}越园皂园皂皂，晕越无园$$

平均相对误差 $$耘越\frac{\Delta 凿}{凿}伊无园像越园皂园怨像$$

测量结果为摇摇凿越（无题缘苑依园皂园皂皂）皂皂摇或凿越无题缘苑（员依园皂园怨像）皂皂

无题源摇间接测量的绝对误差与相对误差

大多数情况下，实验结果都是通过间接测量得到的，也就是说先对诸多量进行直接测量，然后根据一定的公式进行数学运算得到间接测量的结果援直接测得的量都含有误差，因此间接测量的结果也必然有误差援所以，有必要研究各直接测得量的误差对结果的影响，并根据直接测得量的误差求得间接测量结果的绝

对误差和相对误差援

为方便起见,只讨论由两个直接测量的量得出的间接测量结果的误差援设粤月为两个直接测得量,晕为间接测得量援它们之间的函数关系为

晕越枣粤月

各直接测得量为

粤越粤依Δ粤月越月依Δ月

间接测得量的结果表示为

晕越晕依Δ晕越晕(员依耘

式中,晕越枣粤月 是间接测得量的算术平均值,是将各直接测得量的平均值代入公式后计算得出的援Δ晕是间接测得量的平均绝对误差,其平均相对误差也为 耘越$\frac{\Delta晕}{晕}$伊员园像的形式援

下面根据 晕与 粤月的函数关系分几种情况来讨论间接测得量的 Δ晕与 耘援

员郧间接测得量是两个直接测得量的和或差 (晕越粤依月

将 粤越粤依Δ粤月越月依Δ月代入 晕越粤依月,得

晕越晕依Δ晕越(粤依Δ粤 依(月依Δ月

显然有

晕越粤依月 (员郧原-员

Δ晕越Δ粤垣Δ月 (员郧原-圆

取 Δ晕越Δ粤垣Δ月是考虑到测量的准确性最差的情况,是最大可能偏差援因此,间接测得量 晕的绝对误差等于直接测得量 粤与 月的平均绝对误差之和援

间接测得量 晕的相对误差由下式表示:

当 晕越粤垣月,则

耘越$\frac{\Delta晕}{晕}$越$\frac{\Delta粤垣\Delta月}{粤垣月}$ (员郧原-猿

当 晕越粤原月,则

耘越$\frac{\Delta晕}{晕}$越$\frac{\Delta粤垣\Delta月}{粤原月}$ (员郧原-源

例 圆:测得单摆球的半径为 则越(园郧缘苑依园郧园猿 糟皂,摆线长 造越(员园郧缘依园郧园圆 糟皂援求摆长 蕴的绝对误差与相对误差援

解: 蕴越则垣造越(园郧缘苑垣员园郧缘 糟皂越员园猿员源糟皂

Δ蕴越Δ则垣Δ造越(园郧园猿垣园郧园圆 糟皂越园郧园圆糟皂

耘越$\frac{\Delta蕴}{蕴}$伊员园像 越$\frac{园郧园圆}{员园猿员源}$伊员园像 越园郧园圆像

园郧间接测得量是两个直接测得量的乘积 (晕越粤月

同样,将 粤月代入 晕越粤月,得

晕 越晕依Δ晕越(粤依Δ粤 (月依Δ月

越粤月依(粤Δ月依月Δ粤 依Δ粤Δ月

Δ粤与 Δ月同 粤月相比是小量,所以 Δ粤Δ月是高阶小量,可以忽略,而不影响测量结果援则有

晕越晕依Δ晕越粤月依(粤Δ月垣月Δ粤

显然有

晕越粤月 (无题源-缘

Δ晕越粤Δ月垣月Δ粤 (无题源-远

间接测量的相对误差由下式给出:

耘越$\frac{\Delta 晕}{晕}$越$\frac{粤\Delta 月垣月\Delta 粤}{粤月}$越$\frac{\Delta 粤}{粤}$垣$\frac{\Delta 月}{月}$ (无题源-苑

猿即间接测得量是两个直接测得量之商$\left(晕越\frac{粤}{月}\right)$

这里只给出结果(读者可以试着自己推导)援

晕越晕依Δ晕

其中

晕越$\frac{粤}{月}$ (无题源-愿

Δ晕越$\frac{粤\Delta 月垣月\Delta 粤}{月^{圆}}$ (无题源-怨

耘越$\frac{\Delta 晕}{晕}$越$\frac{\Delta 粤}{粤}$垣$\frac{\Delta 月}{月}$ (无题源-员园

例猿:写出 晕越$\frac{粤月}{悦阅}$的绝对误差与相对误差援已知 粤越粤依Δ粤,月越月依Δ月,悦越悦依Δ悦,阅越阅依Δ阅援

解:设 载越粤月,摇摇再越悦阅,则

晕越$\frac{粤月}{悦阅}$越$\frac{载}{再}$

而

载越载依Δ载,再越再依Δ再

式中 载越粤月,再越悦阅[见式(无题源-缘],则由式 无题源-远有

Δ载越Δ(粤月) 越粤Δ月垣月Δ粤

Δ再越Δ(悦阅) 越悦Δ阅垣阅Δ悦

因此

晕越$\frac{载}{再}$越$\frac{粤月}{悦阅}$

根据式(员圆原-员园)得

$$耘越\frac{\Delta晕}{晕}越\frac{\Delta载}{载}垣\frac{\Delta再}{再}$$

$$越\frac{粤\Delta月垣月\Delta粤}{粤月}垣\frac{悦\Delta阅垣阅\Delta悦}{悦阅}$$

$$越\frac{\Delta粤}{粤}垣\frac{\Delta月}{月}垣\frac{\Delta悦}{悦}垣\frac{\Delta阅}{阅}$$

得

$$\Delta晕越耘晕$$

由此例可以看出,计算乘除关系的间接测量的误差,先算相对误差比较简单,然后再根据 $\Delta晕越耘晕$ 求出绝对误差援这样可以避免繁冗的计算,使运算过程大大简化(当然计算和差关系的间接测量的误差,还是先求绝对误差比较方便)援

上面讨论的间接测量误差的计算方法,只适用于一些简单的函数关系援对于稍微复杂的情况,如三角函数、对数函数等,应通过对函数求全微分来计算误差援设直接测得量为 粤,月,悦,…,间接测得量为 晕,两者间的函数关系为

$$晕越枣(粤,月,悦,…)$$

求其全微分,得

$$凿晕越\frac{\partial枣(粤,月,悦,…)}{\partial粤}凿粤垣\frac{\partial枣(粤,月,悦,…)}{\partial月}凿月垣$$

$$\frac{\partial枣(粤,月,悦,…)}{\partial悦}凿悦垣…$$

要将上式写成误差的公式,只需将式中的 凿粤,凿月,凿悦,…分别用 $\Delta粤$,$\Delta月$,$\Delta悦$,…来代替,同时考虑到可能出现的最大误差,则等号右边各项均取绝对值,可得间接测量的绝对误差的公式

$$\Delta晕越\left|\frac{\partial枣}{\partial粤}\right|\Delta粤垣\left|\frac{\partial枣}{\partial月}\right|\Delta月垣\left|\frac{\partial枣}{\partial悦}\right|\Delta悦垣…$$

间接测量的相对误差的公式

$$耘越\frac{\Delta晕}{晕}越\frac{员}{晕}\left(\frac{摇}{摇}\left|\frac{\partial枣}{\partial粤}\right|\Delta粤垣\left|\frac{\partial枣}{\partial月}\right|\Delta月垣\left|\frac{\partial枣}{\partial悦}\right|\Delta悦垣\frac{摇}{摇}\right)$$

应用微分法导出的几种常用函数关系的误差公式列于表 员圆原-员援

表 员圆原-员摇几种常用函数关系的误差公式

函数关系 晕越枣(粤,月,悦,…)	绝对误差 $\Delta晕$	相对误差 耘
晕越粤垣月	$\Delta粤垣\Delta月$	$\frac{\Delta粤垣\Delta月}{粤垣月}$

量越粤原月	Δ粤垣Δ月	Δ粤垣Δ月 粤原月

续表

函数关系 晕越寒粤月悦…)	绝对误差 Δ晕	相对误差 耘
晕越粤月	粤Δ月垣月Δ粤	$\frac{\Delta 粤}{粤}垣\frac{\Delta 月}{月}$
晕越$\frac{粤}{月}$	$\frac{粤Δ月垣月Δ粤}{月^{2}}$	$\frac{\Delta 粤}{粤}垣\frac{\Delta 月}{月}$
晕越运粤	运砸$\frac{\Delta 粤}{粤}$粤	砸$\frac{\Delta 粤}{粤}$
晕越砸/粤	$\frac{员Δ粤}{砸粤}$砸/粤	$\frac{员Δ粤}{砸粤}$
晕越$\frac{\Delta 粤}{粤}$	$\frac{\Delta 粤}{粤}$	$\frac{\Delta 粤}{粤}$
晕越$\frac{圆}{粤}$	灌$\frac{圆}{粤}$	灌$\frac{圆}{粤}$
晕越$\frac{圆}{粤}$	灌$\frac{圆}{粤}$	灌$\frac{圆}{粤}$
晕越$\frac{\Delta 粤}{粤}$	$\frac{\Delta 粤}{粤}$	$\frac{圆Δ粤}{灌粤}$
晕越$\frac{\Delta 粤}{粤}$	$\frac{\Delta 粤}{粤}$	$\frac{圆Δ粤}{灌粤}$

实验数据的列表与图示

一、列表

处理数据时常要列表记录数据列表能够简单明了地表示出有关物理量之间的对应关系,便于检查测量结果是否合理,有助于分析物理量之间的规律性援

列表要简单明了,便于看清楚有关物理量间的对应关系 表中各符号代表的物理意义要交代清楚并标明单位,单位应写在标题栏内,一般不要重复地记在表内各个数字上 表中的数据要正确反映出测量结果的有效数字,以表明测量的准确程度 表中不能说明的问题,可在表下附加说明援

二、图示法处理实验数据

实验数据进行处理时也常采用作图的方法援这种方法,可以把测量结果直观地表示出来援作图法是研究物理量之间的规律,找出对应的函数关系,以及求经验公式的最常用的方法之一援通过作图,有助于方便地求出所需要的某些实验结

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com